

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

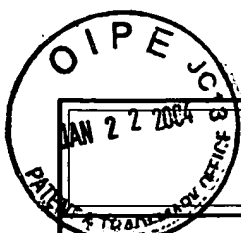
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



1/26/04

942101

**TRANSMITTAL LETTER
(General - Patent Pending)**

Docket No.
088.037000

In Re Application Of: **Demi et al.**

Serial No.
10/665,102

Filing Date
September 18, 2003

Examiner
N/A

Group Art Unit
2621

Title: **METHOD AND APPARATUS FOR CONTOUR TRACKING OF AN IMAGE THROUGH A CLASS OF
NON LINEAR FILTERS**

TO THE COMMISSIONER FOR PATENTS:

Transmitted herewith is:

**Transmittal Letter (1 page)
Certified Copy of Priority Document (1 Bound Document)
Certificate of Mailing (1 page)
Acknowledgment Postcard (1 page)**

in the above identified application.

- ☒ No additional fee is required.
- ☐ A check in the amount of _____ is attached.
- ☐ The Director is hereby authorized to charge and credit Deposit Account No. _____ as described below.
- ☐ Charge the amount of _____
- ☐ Credit any overpayment.
- ☐ Charge any additional fee required.


Signature

Dated: 22 Jan 04

**Michael A. Baffa, Esq.
USPTO Reg. No. 42,279
THE BILICKI LAW FIRM, P.C.
Furniture Mart Building, Suite 1000
111 West Second Street
Jamestown, NY 14701**

I certify that this document and fee is being deposited on _____ with the U.S. Postal Service as first class mail under 37 C.F.R. 1.8 and is addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Signature of Person Mailing Correspondence

Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence

CC:

CERTIFICATE OF MAILING BY "EXPRESS MAIL" (37 CFR 1.10)

Docket No.

088.037000

Applicant(s): Demi et al.

Serial No.

10/665,102

Filing Date

N/A

Examiner

N/A

Group Art Unit

2621

Invention:

METHOD AND APPARATUS FOR CONTOUR TRACKING OF AN IMAGE THROUGH A CLASS OF NON LINEAR FILTERS

I hereby certify that the following correspondence:

Transmittal Letter (1 page), Certified Priority Document (1 Bound Document), Certificate of Mailing (1 page), Acknowledgment Postcard*(Identify type of correspondence)*

is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on

January 22, 2004*(Date)*Katie M. Ireland*(Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence)*Katie M. Ireland*(Signature of Person Mailing Correspondence)*EV386771188US*("Express Mail" Mailing Label Number)***Note: Each paper must have its own certificate of mailing.**



Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi
Ufficio G2

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:

N.

PI2002 A 000051

Invenzione Industriale



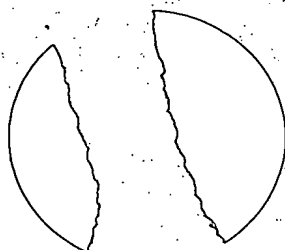
*Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.*

9 DIC. 2003

Roma, li

IL DIRIGENTE

D.ssa Paola DI CINTIO

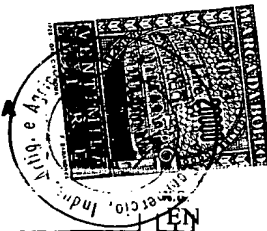


AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE. DEPOSITO RISERVE. ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO

MODULO A



A. RICHIEDENTE (1) CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche

1) Denominazione Roma codice 00962421004

Residenza ESAOTE S.p.A.

2) Denominazione Casale Monferrato (AL) codice 01622780060

Residenza

B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome nome Dott. Ing. Marco Celestino cod. fiscale 01362310508

denominazione studio di appartenenza ABM AGENZIA BREVETTI & MARCHI

via Viale Giovanni Pisano n. 31 città PISA cap 56123 (prov) PT

C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario come sopra

via _____ n. _____ città _____ cap _____ (prov) _____

D. TITOLO classe proposta (saz/cl/sci) _____ gruppo/sottogruppo _____/_____/_____

METODO E APPARATO PER L'ESTRAZIONE DEI CONTORNI DELLE STRUTTURE PRESENTI

IN UNA IMMAGINE MEDIANTE L'IMPIEGO DI UNA CLASSE DI FILTRI NON LINEARI

ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO: SI ☐ NO ☒ SE ISTANZA: DATA _____/_____/_____ N° PROTOCOLLO _____

E. INVENTORI DESIGNATI

1) DEMI Marcello 3) PATERNI Marco

2) GEMIGNANI Vincenzo 4) BENASSI Antonio

F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione	tipo di priorità	numero di domanda	data di deposito	allegata S/N	SCIOGLIMENTO RISERVE Data N° Protocollo
1) _____	_____	_____	____/____/____	_____	____/____/____/____
2) _____	_____	_____	____/____/____	_____	____/____/____/____

G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA COLTURE DI MICROORGANISMI, denominazione _____

H. ANNOTAZIONI SPECIALI

nessuna

DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es.	Doc.	Prov.	n. pag.	n. tav.	Descrizione	SCIOGLIMENTO RISERVE Data N° Protocollo
1)	<input checked="" type="checkbox"/>	PROV	40		riassunto con disegno principale, descrizione e rivendicazioni (obbligatorio 1 esemplare)	____/____/____/____
2)	<input checked="" type="checkbox"/>	PROV	06		disegno (obbligatorio se citato in descrizione, 1 esemplare)	____/____/____/____
3)	<input checked="" type="checkbox"/>	RS			lettera d'incarico, procura o riferimento procura generale	____/____/____/____
4)	<input checked="" type="checkbox"/>	RS			designazione inventore	____/____/____/____
5)	<input checked="" type="checkbox"/>	RS			documenti di priorità con traduzione in italiano	____/____/____/____
6)	<input checked="" type="checkbox"/>	RS			autorizzazione o atto di cessione	____/____/____/____
7)	<input checked="" type="checkbox"/>				nominativo completo del richiedente	____/____/____/____

8) attestati di versamento, totale lire Eur.291.80 (Duecentonovantuno,80) - tassa pagata per n. 12 anni Ing. MARCO CELESTINO obbligatorio

COMPILATO IL 18/09/2002 FIRMA DEL(I) RICHIEDENTE (I) ABM AGENZIA BREVETTI & MARCHI

CONTINUA SI/NO NO Scritto all'Albo N° 544

DEL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA SI/NO SI

CAMERA DI COMMERCIO I. A. A. DI PISA codice 50

VERBALE DI DEPOSITO NUMERO DI DOMANDA PI2002A000051 Reg. A

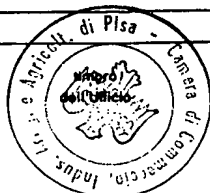
L'anno millenovecento XXXX DUEMILADUE, il giorno DICIOTTO, del mese di SETTEMBRE

il(i) richiedente(i) sopraindicato(i) ha(hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda, corredata di n. _____ fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopraportata.

I. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE _____

IL DEPOSITANTE [Firma]

L'UFFICIALE ROGANTE [Firma]



A. RICHIEDENTE (I)

Denominazione

CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche; ESAOTE S.p.A.

Residenza

Roma; Casale Monferrato (AL)

B. TITOLO

METODO E APPARATO PER L'ESTRAZIONE DEI CONTORNI DELLE STRUTTURE PRESENTI
IN UNA IMMAGINE MEDIANTE L'IMPIEGO DI UNA CLASSE DI FILTRI NON LINEARI

Classe proposta (sez./cl./cd/)

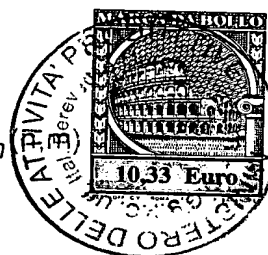
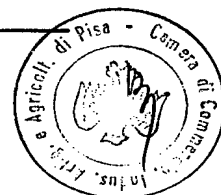
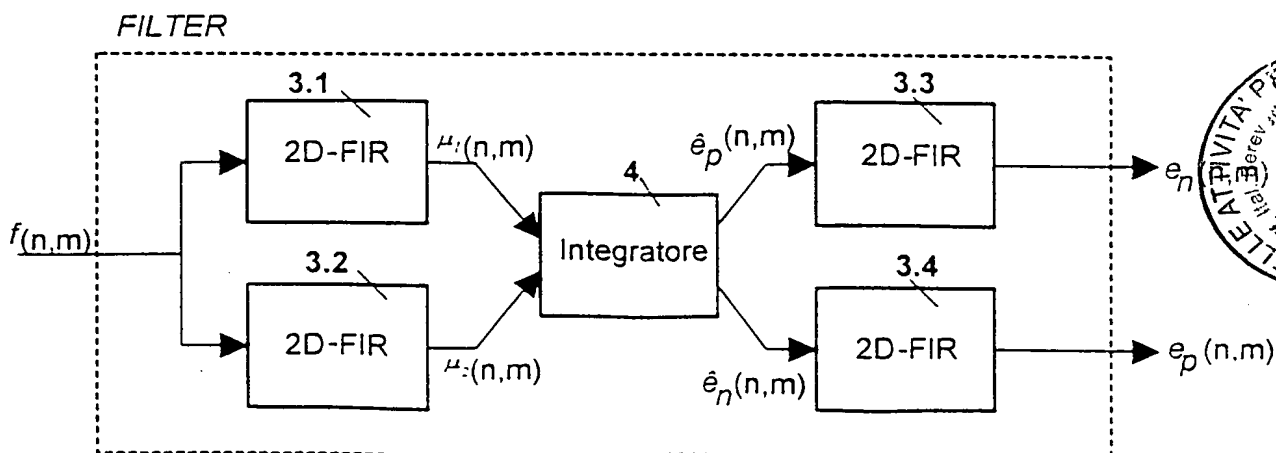
(gruppo/sottogruppo)

L. RIASSUNTO

Un metodo automatico di localizzazione ed estrazione del contorno di strutture presenti in una immagine che usa una nuova classe di filtri, derivati dal momento centrale assoluto del primo ordine. Il metodo prevede il filtraggio di una immagine di partenza tramite il momento centrale assoluto $e(n,m)$ dell'intensità dei pixel di detta immagine, essendo n e m le coordinate di ciascun pixel, in cui il momento centrale assoluto è ottenuto con le seguenti fasi: determinazione per ogni n,m della media locale calcolata su un intorno del pixel di coordinate n,m dell'immagine di partenza, ottenendo una prima immagine filtrata; determinazione per ogni n,m della sommatoria delle differenze in valore assoluto tra l'intensità del pixel di coordinate n,m della prima immagine filtrata e l'intensità di tutti i pixel contenuti in un intorno del pixel di coordinate n,m di detta immagine di partenza, o di una seconda immagine filtrata da essa derivata. Le immagini da trattare possono essere di vario tipo e provenienti da vari settori, tra cui robotica, controllo di processi industriali, medicina, applicazioni multimediali, sistemi di sicurezza, e possono essere immagini a colori o a livelli di grigio. Le immagini bidimensionali possono dare luogo a immagini volumetriche o immagini panoramiche se acquisite come sequenze spaziali di sezioni bidimensionali.

M. DISEGNO

Fig. 9



Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo:
"METODO E APPARATO PER L'ESTRAZIONE DEI CONTORNI DELLE
STRUTTURE PRESENTI IN UNA IMMAGINE MEDIANTE L'IMPIEGO DI
UNA CLASSE DI FILTRI NON LINEARI" a nome di CNR CONSIGLIO
5 NAZIONALE DELLE RICERCHE, di nazionalità italiana e con
sede a Roma, e a nome di ESAOTE S.p.A., di nazionalità
italiana e con sede legale a Casale Monferrato (AL).

Inventori designati: DEMI Marcello; GEMIGNANI
Vincenzo; PATERNI Marco; BENASSI Antonio.

10

===0==0===

DESCRIZIONEAmbito dell'invenzione

La presente invenzione riguarda un metodo di
localizzazione ed estrazione dei contorni delle strutture
15 presenti in una immagine.

Inoltre, l'invenzione si riferisce ad un apparato in
cui risiedono filtri non lineari applicabili in procedure
di localizzazione ed estrazione di detti contorni.

Le immagini da trattare possono essere di vario tipo e
20 provenienti da vari settori, tra cui robotica, controllo di
processi industriali, medicina, applicazioni multimediali,
sistemi di sicurezza, e possono essere immagini a colori o a
livelli di grigio.

Nel caso di applicazioni in medicina, in tal caso
25 riguardanti l'imaging biomedico, esse si riferiscono

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Ischita all'albo N. 544



normalmente ad un organo e sono ottenute con varie tecniche come ad esempio impulsi ultrasonici, PET, SPECT, CAT, MR, etc. In particolare, possono essere immagini anatomiche, o immagini di funzione, ottenute per mezzo di sequenze
5 temporali di viste anatomiche di una zona particolare di un organo, o immagini di perfusione, ottenute sullo stesso organo dopo trattamento del paziente con sostanze che mettano in risalto la perfusione nell'organo. Oppure, possono essere immagini di tracciati (es. ECG) acquisite con
10 uno scanner con lo scopo di convertire il tracciato su carta in segnale digitale.

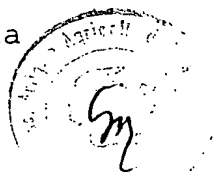
Le immagini bidimensionali possono dare luogo a immagini volumetriche o immagini panoramiche se acquisite come sequenze spaziali di sezioni bidimensionali.

15 Descrizione della tecnica nota

Le procedure di estrazione dei contorni costituiscono un importante aspetto dell'elaborazione delle immagini, poiché sono correntemente utilizzate nei settori suddetti. Il contorno, definito come una rapida
20 variazione di intensità e/o colore tra due regioni adiacenti, può essere estratto attraverso numerosi approcci tra cui quelli più usati si basano su filtri derivativi di primo e secondo ordine.

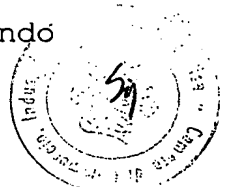
Filtri derivativi di primo ordine

25 I filtri derivativi di primo ordine misurano la



variazione dell'intensità luminosa in una predefinita area di interesse. Le discontinuità in questo caso sono localizzate cercando i massimi locali della risposta del filtro derivativo.

5 Uno dei più usati è il Gradiente di Gaussiana (GoG), la cui risposta è soddisfacente su contorni rettilinei privi di incroci con altri contorni, ma tende a perdere efficacia in presenza di contorni con valori elevati di curvatura (per es. spigoli), alle estremità di linee o sulle barre, alle
10 intersezioni tra differenti discontinuità ed in punti isolati (spot). In presenza di rumore, l'uso di una soglia predefinita permette di discriminare i massimi locali spuri da quelli generati dalle discontinuità. Molte procedure utilizzano un unico e predefinito valore di soglia su tutta
15 l'immagine. Questo tipo di approccio risulta tuttavia poco efficace poiché le caratteristiche dell'immagine (luminosità, contrasto, rumore, ecc.) non sono, in generale, costanti sull'intera area. Per esempio, le parti più scure di una immagine sono spesso caratterizzate da variazioni di
20 intensità minori rispetto alle aree più luminose. Quindi, un valore di soglia adatto per le zone luminose può non essere adatto per le zone più scure e viceversa. Questi problemi hanno portato allo sviluppo di procedure di tecnica nota capaci di estrarre localmente i valori di soglia che meglio
25 si adattano ad una specifica area dell'immagine, associando



- 5 -

ad ogni pixel dell'immagine una soglia legata alle variazioni di luminosità. In particolare:

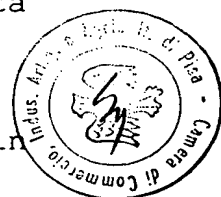
- US6094508 utilizza una soglia ricavata attraverso un modello che approssima e misura la risposta della visione umana alle variazioni di intensità locali;
- EP0414505 utilizza una soglia dinamica ricavata dalla stima dell'errore di diffusione nell'intorno di ciascun punto dell'immagine.
- US6061476 utilizza un approccio nel quale, attraverso una tecnica di sottrazione, si cerca di ottenere una soglia che è proporzionale al contrasto tra il fondo e la caratteristica di interesse delle quali si desidera estrarre il contorno.
- US4220972 risolve il problema di estrarre contorni di immagini con basso contrasto, utilizzando una soglia proporzionale alla misura della luminosità locale dell'immagine.

Filtri derivativi del secondo ordine.

I filtri derivativi del secondo ordine producono uno zero-crossing in corrispondenza dei contorni delle strutture presenti nelle immagini. Questo zero-crossing è dato dal fatto che i contorni sono individuati come delle discontinuità, in corrispondenza delle quali l'intensità della risposta attraversa il valore zero.

Il filtro derivativo del secondo ordine più noto in

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto al N. 544



letteratura è il Laplaciano di Gaussiana (LoG), ampiamente
utilizzato in applicazioni di computer vision. Esso è spesso
approssimato con una *Differenza di due Gaussiane* (DoG) aventi
differenti aperture. In questo caso la localizzazione dei
5 contorni si basa sulla ricerca dei punti di zero-crossing
della risposta del filtro derivativo. Tale operazione non è
facile, soprattutto in presenza di rumore, perché
l'operazione derivata di secondo ordine esalta il rumore.

Anche in tal caso, il rumore viene affrontato
10 utilizzando un'operazione di sogliatura, come ad esempio in
US5086219, adottando una soglia legata allo *strenght* dello
zero crossing, ossia alla pendenza della curva nel punto di
attraversamento dello zero; il presupposto è che, in
generale, alle discontinuità corrispondono zero-crossing più
15 intensi (cioè attraversamenti dello zero con pendenze più
elevate) di quelli normalmente generati dal rumore, che in
questo modo può essere filtrato.

In alternativa, US5142592 propone una procedura basata
sul filtro LoG per la localizzazione di contorni vicini e
20 paralleli; in questo caso, il vincolo stesso di parallelismo
viene sfruttato per contrastare i problemi derivanti dalla
presenza di rumore.

In generale, i filtri derivativi di I e II ordine
danno risposte più scadenti in corrispondenza di angoli,
25 spigoli, vertici, intersezioni, variazioni di curvatura



ecc.. Ciò comporta, oltre ad un risultato non del tutto soddisfacente, un aggravio computazionale.

Sintesi dell'invenzione

È scopo della presente invenzione fornire un metodo
5 per la localizzazione e l'estrazione di contorni di strutture presenti in una immagine che consenta di ottenere una immagine con caratteristiche in generale superiori rispetto a quelle ottenute con i metodi di tecnica nota.

È un altro scopo della presente invenzione fornire
10 un metodo per la localizzazione e l'estrazione di contorni di strutture presenti in una immagine che consenta di mettere in evidenza con elevata risoluzione punti chiave di un'immagine, quali angoli, spigoli, vertici, intersezioni, variazioni di curvatura, linee, punti
15 isolati, ecc.

È un ulteriore scopo della presente invenzione fornire un metodo per la localizzazione e l'estrazione di contorni di strutture presenti in una immagine che permetta di realizzare le operazioni di calcolo più
20 velocemente che con i sistemi di tecnica nota.

È uno scopo particolare della presente invenzione fornire un metodo per la localizzazione e l'estrazione di contorni che permetta di distinguere il bordo interno dal bordo esterno di strutture presenti in una immagine
25 corrispondenti a detti contorni.

- 8 -

È anche scopo della presente invenzione introdurre una nuova classe di filtri, applicabili in tale metodo di localizzazione ed estrazione di contorni.

L'invenzione verrà ora sintetizzata facendo
5 riferimento ad immagini mappate a livelli di grigio, essendo chiaro che essa può essere estesa anche a immagini a colori. In particolare, si parlerà di intensità sia per definire l'intensità dei livelli di grigio, che dei colori.

Secondo l'invenzione, i suddetti scopi sono
10 raggiunti da un metodo automatico di localizzazione ed estrazione del contorno di strutture presenti in una immagine che usa una nuova classe di filtri, derivati dal momento centrale assoluto del primo ordine.

Il metodo prevede il filtraggio di una immagine di
15 partenza tramite il momento centrale assoluto $e(n,m)$ dell'intensità dei pixel di detta immagine, essendo n e m le coordinate di ciascun pixel, in cui il momento centrale assoluto è ottenuto con le seguenti fasi:

- determinazione per ogni n,m della media locale
20 calcolata su un intorno del pixel di coordinate n,m dell'immagine di partenza, ottenendo una prima immagine filtrata;

- determinazione per ogni n,m della sommatoria delle
differenze in valore assoluto tra l'intensità del pixel di
25 coordinate n,m della prima immagine filtrata e l'intensità



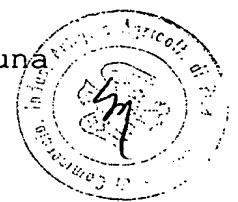
di tutti i pixel contenuti in un intorno del pixel di coordinate n,m di detta immagine di partenza, o di una seconda immagine filtrata da essa derivata.

Preferibilmente, la sommatoria delle differenze è calcolata tra la prima immagine filtrata ed una seconda immagine filtrata, derivata dall'immagine di partenza, ottenuta per ogni n,m dalla media locale calcolata su un intorno del pixel di coordinate n,m dell'immagine di partenza.

Vantaggiosamente, la sommatoria delle differenze viene sdoppiata calcolando una sommatoria delle differenze positive, o deviazione positiva, e una sommatoria delle differenze negative, o deviazione negativa.

Secondo l'invenzione, il calcolo del momento centrale assoluto generalizzato dei livelli di grigio di pixel di una immagine comprende le fasi di:

- definizione di quattro domini circolari Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 e Θ_4 , rispettivamente di raggio r_1 , r_2 , r_3 ed r_4 ;
- associazione a ogni dominio Θ_i di una funzione peso w_i ;
- calcolo del valor medio pesato μ_i della mappa a livelli di grigio per i domini Θ_1 e Θ_2 ;
- calcolo del momento assoluto centrale generalizzato $e(n,m)$ con la funzione peso w_3 sul dominio Θ_3 ;
- scomposizione del momento centrale assoluto generalizzato $e(n,m)$ in due filtri complementari: una

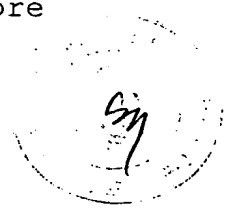


deviazione positiva $e_p(n,m)$ e una deviazione negativa $e_n(n,m)$ che producono, in prossimità di una discontinuità, due profili a campana parzialmente sovrapposti;

- convoluzione delle due deviazioni positiva $e_p(n,m)$ e
5 negativa $e_n(n,m)$ con la funzione peso w_4 sul dominio Θ_4 ;

Uno dei principali vantaggi dell'invenzione è che $e_n(n,m)$ produce una campana con il picco sul bordo scuro della discontinuità mentre $e_p(n,m)$ produce una campana con il picco sul bordo luminoso. In generale, quindi, la
10 deviazione negativa evidenzia strutture scure su fondo chiaro, mentre la deviazione positiva evidenzia strutture chiare su fondo scuro. Inoltre, una delle due deviazioni evidenzia il bordo interno di una struttura mentre l'altra deviazione ne evidenzia il bordo esterno. Questo può
15 essere utile ad esempio per distinguere, una volta individuati, il bordo esterno da quello interno di un vaso sanguigno, di una parete cardiaca, ecc.

Un altro principale vantaggio è che la funzione $\text{Min}(e_p(n,m), |e_n(n,m)|)$ consente di superare le difficoltà
20 computazionali di ricerca degli "zero-crossing" della risposta del filtro. La zona di sovrapposizione delle due componenti rappresenta infatti una cresta molto stretta che localizza direttamente lo "zero-crossing", e quindi la discontinuità, producendo al tempo stesso un valore



proporzionale alla pendenza dello "zero-crossing". Questo alleggerimento computazionale rende il metodo vantaggioso per l'estrazione di contorni di immagini video organizzate come sequenza di fotogrammi.

5 Un altro principale vantaggio è che due filtri standard molto usati in computer vision come il DoG (differenza di gaussiane) e il GoG (gradiente di gaussiana) possono essere sostituiti il primo con la somma delle due deviazioni positiva $e_p(n,m) + e_n(n,m)$ e il
10 secondo con la differenza $e_p(n,m) - e_n(n,m)$. Questo perché i risultati sono analoghi.

Un altro principale vantaggio è che il momento centrale assoluto $e(n,m)$ produce un profilo a campana in corrispondenza di discontinuità e produce un massimo
15 locale in corrispondenza di spigoli, di giunzioni e dei punti terminali delle linee. Quindi, le prestazioni del momento centrale assoluto sono migliori di quelle del gradiente di Gaussiana proprio nei punti chiave dell'immagine.

20 Un altro principale vantaggio è che il momento centrale assoluto $e(n,m)$ produce un profilo a campana anche in corrispondenza di linee e può quindi essere usato per il recupero di tracciati (per esempio tracciati elettrocardiografici) da supporto cartaceo e per la loro
25 conversione in segnali digitali. Il supporto cartaceo può



essere acquisito con uno scanner e l'immagine ottenuta può essere filtrata con il momento centrale assoluto $e(n,m)$ in modo da evidenziare la traccia elettrocardiografica tramite un profilo a campana. La sommità di tale profilo a
5 campana è il segnale digitale cercato e può essere determinata con un algoritmo standard di localizzazione dei massimi locali;

Un altro principale vantaggio è che due operazioni di filtraggio ottenute con il momento centrale assoluto
10 $e(n,m)$ ma con differenti parametri r_1, r_2, r_3 ed r_4 possono essere usati per implementare un algoritmo di sogliatura locale che mette a confronto due immagini, una con maggiore rumore e minore intensità nei picchi e una con minore rumore e maggiore intensità nei picchi.

15 Vantaggiosamente, le funzioni peso sono scelte tra:

- funzioni costanti, in cui il valore della costante è scelto in modo da normalizzare la funzione sul dominio Θ_i ;
- funzioni Gaussiane, in cui dette funzioni peso w_i sono approssimate con funzioni normalizzate su domini circolari
20 Θ_i di raggio $r_i=3\sigma_i$.

Secondo un altro aspetto dell'invenzione, una apparecchiatura per l'estrazione del contorno di strutture presenti in una immagine comprende almeno due filtri e una unità aritmetico logica (ALU), in cui detti filtri
25 implementano il calcolo della deviazione positiva $e_p(n,m)$



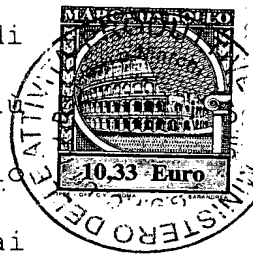
e della deviazione negativa $e_n(n,m)$ del momento centrale assoluto $e(n,m)$, come sopra definito.

In particolare, ogni filtro è caratterizzato da un prefissato set di parametri costituiti dai coefficienti delle funzioni peso. Tali coefficienti possono essere impostati in fase di inizializzazione del sistema. Tipicamente, il numero di bit su cui sono rappresentate le funzioni peso è pari al numero di bit su cui è rappresentata l'immagine. La ALU realizza operazioni aritmetiche e logiche sui risultati dei precedenti filtri in base all'operazione di filtraggio prescelta.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dei metodi secondo la presente invenzione, risulteranno più chiaramente dalla descrizione che segue, fatta a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento ai disegni annessi in cui:

- la figura 1 costituisce una rappresentazione grafica dei domini Θ_1 , Θ_2 e Θ_3 utilizzati nel calcolo del momento centrale assoluto del primo ordine ad un pixel dell'immagine;
- la figura 2 mostra la risposta (2b) di due componenti $e_p(n,m)$ ed $e_n(n,m)$ del primo momento centrale assoluto in prossimità di una discontinuità a gradino (2a);
- la figura 3 illustra come le risposte (3a) di $e_p(n,m)$



ed $e_n(n,m)$ possono essere utilmente combinate per ottenere differenti risposte (3b-3d);

- la figura 4 mostra, nel caso di due immagini di partenza (4a e 4d), la risposta del momento centrale (4c e 4f) nella
5 combinazione di figura 3b, confrontata con la risposta del gradiente di Gaussiana (4b e 4e);

- la figura 5 mostra, nel caso di quattro immagini di partenza (5a) la risposta del filtro Min(deviazione positiva, |deviazione negativa|) (5c) nella combinazione di
10 figura 3d, confrontata con la mappa degli zero-crossing ottenuti come risposta ad una Differenza di due Gaussiane (DoG) (5b);

- la figura 6 illustra una procedura di sogliatura locale secondo l'invenzione nei suoi vari stadi 6a-6g;

15 - la figura 7 illustra una tipica applicazione della procedura di sogliatura locale (7d), partendo dalle stesse immagini di figura 5 (7a);

- la figura 8 illustra lo schema a blocchi di un apparato per l'implementazione della classe di filtri proposta in
20 grado di elaborare segnali video in tempo reale;

- la figura 9 illustra lo schema a blocchi dei filtri di figura 8;

- nella figura 10 è schematizzata l'architettura della unità elementare dei quattro convolutori "2D-FIR" di fig. 9;

25 - la figura 11 illustra l'implementazione di un filtro

bidimensionale "2D-FIR" tramite la cascata di due filtri monodimensionali "1D-FIR";

- nella figura 12 è schematizzata l'architettura dell'unità elementare dell'integratore di figura 9.

5 Descrizione del metodo

Il metodo secondo l'invenzione parte da una generalizzazione del momento centrale assoluto del I ordine.

Indicando con:

- $f(n,m)$ la mappa dei livelli di grigio di una immagine,
- 10 dove f assume uno tra i 256 valori tra 0 e 255 di livelli di grigio per ogni pixel di coordinate n, m ,
- $w_1(n,m)$, $w_2(n,m)$, $w_3(n,m)$ e $w_4(n,m)$ quattro funzioni peso definite su quattro domini circolari Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 e Θ_4 , ciascun punto dei domini avendo coordinate (k,l) , e i
- 15 domini essendo scelti in funzione dell'operazione da realizzare.
- r_1 , r_2 , r_3 e r_4 i rispettivi raggi di Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 e Θ_4 ,

il momento centrale assoluto generalizzato del primo ordine è calcolato come segue:

$$20 \quad e(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_3} |\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)| w_3(k,l) \quad (1)$$

dove

- \otimes è l'operatore di convoluzione,
- il valore medio $\mu_i(n,m)$ è calcolato come

$$\mu_i(n,m) = \sum_{(k,l) \in \Theta_i} f(n-k, m-l) w_i(k,l) \quad (2)$$

- 25 - i domini Θ_i sono definiti come

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritta all'Albo N. 544



$$\Theta_i = \{(k, l) \in I^2 : \sqrt{k^2 + l^2} \leq r_i\} \quad (3)$$

con I che rappresenta l'insieme dei numeri interi.

Con riferimento alla figura 1, il primo momento centrale assoluto generalizzato misura la variabilità del valore medio dei livelli di grigio contenuti nel dominio circolare Θ_3 , rispetto al valore medio locale dei livelli di grigio calcolato nel dominio centrale Θ_1 ; Il valore medio dei livelli di grigio di ogni punto del dominio circolare Θ_3 viene calcolato su un intorno circolare Θ_2 .

Per quanto riguarda le funzioni peso, possono essere:

- una funzione peso costante, scelta in modo da normalizzare la funzione sul dominio Θ_i .

$$w_i(k, l) = \begin{cases} C & (k, l) \in \Theta_i \\ 0 & (k, l) \notin \Theta_i \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{con } \sum_{(k, l) \in \Theta_i} w_i(k, l) = 1 \quad (5)$$

Una funzione peso Gaussiana, approssimata con funzioni normalizzate su domini circolari Θ_i di raggio $r_i = 3\sigma_i$, calcolata come segue:

$$w_i(k, l) = \begin{cases} \frac{e^{-\frac{(k^2 + l^2)}{2\sigma_i^2}}}{\sum_{(k, l) \in \Theta_i} e^{-\frac{(k^2 + l^2)}{2\sigma_i^2}}} & (k, l) \in \Theta_i \\ 0 & (k, l) \notin \Theta_i \end{cases} \quad (6)$$

Il momento centrale assoluto generalizzato $e(n, m)$



- 17 -

viene quindi scomposto in due filtri complementari: una deviazione positiva $e_p(n,m)$ e una deviazione negativa $e_n(n,m)$, e precisamente:

$$e_p(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_{3p}} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l) \quad (7)$$

$$e_n(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_{3n}} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l)$$

5 dove i domini Θ_{3p} e Θ_{3n} sono definiti come:

$$\Theta_{3p} = \{(k,l) \in \Theta_3 : \mu_1(n,m) > \mu_2(n-k, m-l)\} \quad (8)$$

$$\Theta_{3n} = \{(k,l) \in \Theta_3 : \mu_1(n,m) < \mu_2(n-k, m-l)\}$$

Il momento centrale assoluto generalizzato può quindi essere ottenuto come:

$$10 \quad e(n,m) = e_p(n,m) - e_n(n,m) \quad (9)$$

La figura 2 mostra la risposta (2b) di $e_n(n,m)$ e di $e_p(n,m)$ ad una immagine test (2a) con una discontinuità ideale a gradino tra due zone a diverso livello di grigio 20 e 30. In corrispondenza della discontinuità 10, $e_n(n,m)$ ed $e_p(n,m)$ producono due profili a campana parzialmente sovrapposti. Mentre $e_n(n,m)$ produce una campana con il picco sul bordo scuro della discontinuità, $e_p(n,m)$ produce una campana con il picco sul bordo luminoso. In generale la deviazione negativa evidenzia strutture scure su fondo chiaro, mentre la deviazione positiva evidenzia strutture chiare su fondo scuro.

La figura 3 mostra schematicamente come le uscite



dei filtri $e_p(n,m)$ ed $e_n(n,m)$ possono essere combinate per ottenere alla discontinuità differenti risposte.

- Fig. 3a: le singole componenti $e_p(n,m)$ e $|e_n(n,m)|$ sono mostrate come curve a campana separate.

5 - Fig. 3b: La somma delle componenti positiva e negativa $e_p(n,m) + |e_n(n,m)|$ dà un singolo profilo a campana il cui picco localizza la discontinuità. Questa risposta è molto simile a quella che potremmo ottenere con un gradiente di Gaussiana.

10 - Fig. 3c: La differenza delle componenti positive e negative $e_p(n,m) - |e_n(n,m)|$, invece, produce una risposta simile a quella che potremmo ottenere con un filtro Laplaciano di Gaussiana. Il filtro produce infatti uno zero-crossing in corrispondenza della discontinuità.

15 - Fig. 3d: Le difficoltà computazionali di ricerca degli zero-crossing della risposta del filtro vengono superate con la funzione $\text{Min}(e_p(n,m), |e_n(n,m)|)$. La zona di sovrapposizione delle due componenti rappresenta infatti una cresta molto stretta che localizza lo zero-crossing, e
20 quindi la discontinuità, producendo al tempo stesso un valore proporzionale alla pendenza dello zero-crossing.

Generazione di un massimo locale alle discontinuità

Con la somma $e_p(n,m) + |e_n(n,m)|$ si ottiene la funzione $e(n,m)$, la quale produce un valore nullo sopra le
25 regioni omogenee ed un massimo locale in corrispondenza



delle discontinuità. Il momento centrale assoluto è un indice di dispersione che produce una mappa simile a quella prodotta dal gradiente di Gaussiana. La figura 4 mostra come, a partire da due immagini (4a e 4d) la
5 combinazione lineare $e_p(n,m) + |e_n(n,m)|$ genera (4c e 4f) un picco in corrispondenza della discontinuità. È tuttavia importante osservare che, diversamente dal gradiente di Gaussiana (4b e 4e), il momento centrale assoluto può produrre un profilo a campana sia in corrispondenza di
10 linee che in corrispondenza di discontinuità a gradino e che può produrre un massimo locale in corrispondenza di spigoli, di giunzioni e dei punti terminali delle linee. Quindi, le prestazioni del momento centrale assoluto sono migliori di quelle del gradiente di Gaussiana proprio nei
15 punti chiave dell'immagine.

Nel caso di funzioni peso Gaussiane, le risposte del momento centrale assoluto risultano diverse al variare della dimensione dei domini $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$. In particolare il momento centrale assoluto generalizzato produce,
20 rispettivamente, in caso di:

- $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ - un solo profilo a campana alle discontinuità;
- $\sigma_1 < \sigma_2 < 1/2 \sigma_3$ massimi locali agli spigoli;
- $\sigma_1 \leq \sigma_2 \leq 2/3 \sigma_3$; $6\sigma_2 \geq d$; $\sigma_3 \geq d$ - una campana a linee di ampiezza d .

25 L'introduzione della funzione peso $w_1(n,m)$ impedisce

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544



però all'operatore di evidenziare tutte le giunzioni con un massimo locale. D'altra parte la funzione peso $w_1(n,m)$ è necessaria per contrastare gli effetti del rumore normalmente presente nelle immagini e non può essere eliminata. Per evidenziare tutte le giunzioni con un massimo locale dobbiamo mantenere separate le due deviazioni positiva $e_p(n,m)$ e negativa $e_n(n,m)$ in quanto esse forniscono un massimo locale a tutte le giunzioni.

Vale la pena notare che il momento centrale di ordine uno nella sua forma standard è identicamente uguale a zero. Nel nostro caso, tuttavia, l'operatore ottenuto è una generalizzazione del momento centrale di ordine uno e non è identicamente uguale a zero. Il momento centrale di ordine uno:

$$c(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_3} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l) \quad (10)$$

è equivalente all'eq.(1) senza valore assoluto e come tale può quindi essere ottenuto come somma delle due componenti negativa e positiva dell'eq(1). Sviluppando l'eq. (10) si ottiene:

$$\begin{aligned} c(n,m) &= e_p(n,m) + e_n(n,m) = \\ &= f(n,m) \otimes (w_1(n,m) \otimes w_4(n,m) - w_2(n,m) \otimes w_3(n,m) \otimes w_4(n,m)) = \\ &= f(n,m) \otimes (w_a(n,m) - w_b(n,m)) \end{aligned} \quad (11)$$

L'eq.(11) mostra come nel caso di funzioni peso Gaussiane la somma $e_p(n,m) + e_n(n,m)$ fornisca una risposta equivalente a quella fornita da un filtro DoG (differenza

di Gaussiane).

Mappa e intensità degli zero-crossing

Qui di seguito viene indicato un filtro ottenuto da un semplice algoritmo per ottenere contemporaneamente la
5 mappa degli zero-crossing e una stima della loro intensità

Il momento centrale assoluto può essere diviso nelle componenti positiva e negativa, e quattro funzioni peso possono essere introdotte nei filtri originali. Nel caso di funzioni peso Gaussiane la somma delle risposte delle
10 due componenti positiva e negativa è equivalente alla risposta di un filtro DoG, indipendentemente dalle aperture $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$. Tuttavia, nel punto in cui le due componenti della risposta del DoG attraversano lo zero, le due creste generate dalla deviazione negativa e positiva
15 del momento assoluto si sovrappongono parzialmente. Il profilo dell'area di sovrapposizione è una sottile cresta il cui picco localizza la discontinuità. L'altezza del picco inoltre è proporzionale al valore di contrasto rappresentato dalla discontinuità. Quindi una semplice
20 funzione algebrica, quale la funzione $\text{Min}(\text{deviazione positiva}, |\text{deviazione negativa}|)$, può fornire contemporaneamente una mappa M_{pn} simile alla mappa degli zero-crossing prodotta con il metodo di Marr-Hildreth (fig.3) e una stima dell'intensità degli zero-crossing.

25 In fig.5 sono rappresentate quattro immagini (5a),

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544



di cui la prima è una immagine sintetica con rumore gaussiano e le altre sono tre generiche immagini di esterni. Sono quindi confrontate le mappe (5b) degli zero-crossing ricavate dall'applicazione di un filtro DoG (metodo di Marr-Hildreth) e le mappe (5c) ottenute con la procedura $\text{Min}(\text{deviazione positiva}, |\text{deviazione negativa}|)$ secondo l'invenzione; queste ultime mostrano contorni simili a quelli delle mappe di zero-crossing. Nell'esempio le impostazioni dei filtri passa basso sono le stesse per entrambi gli approcci. Sono state usate le classiche aperture $\sigma_2=1.6\sigma_1$ $\sigma_3=0$ di un filtro DoG. Una Gaussiana $w_4(n, m)$ con apertura $\sigma_4=0.7$ pixel è stata infine usata per assicurare la sovrapposizione delle due deviazioni del momento assoluto. Se questa configurazione è utilizzata le due deviazioni sono uguali alle due componenti positiva e negativa della risposta di un filtro DoG quando sono filtrate separatamente con una Gaussiana di apertura uguale a 0.7 pixel.

Procedura locale di sogliatura

Una procedura locale di sogliatura può essere ottenuta combinando due mappe prodotte dall'uso dei seguenti filtri:

$$e'(n, m) = \sum_{(k, l) \in \Theta_3} |\mu_1(n, m) - f(n - k, m - l)| w_3(k, l) \quad (12)$$

$$e''(n, m) = w_4(n, m) \otimes \sum_{(k, l) \in \Theta_3} |f(n, m) - f(n - k, m - l)| w_3(k, l) \quad (13)$$

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544



In presenza di rumore, quando $r_1 = r_4$, su zone omogenee dell'immagine l'equazione (12) produce un livello di rumore inferiore a quello prodotto dall'eq.(13). In corrispondenza delle discontinuità si ottiene invece il risultato opposto. Alle discontinuità l'eq.(12) produce
5 profili a campana più alti di quelli prodotti dall'eq.(13). Dato che l'eq.(12) produce massimi locali più alti alle discontinuità e valori di rumore più bassi sulle zone omogenee rispetto a quanto prodotto
10 dall'eq.(13), quest'ultima può essere utilizzata come soglia della risposta ottenuta con l'eq.(12).

Con riferimento alla figura 6, quindi, partendo da un'immagine test 6a, alla quale è stato sommato rumore gaussiano, vengono applicati i filtri relativi alle eq.
15 (12) e (13), ottenendo rispettivamente le immagini 6b e 6c; i grafici 6d ed 6e mostrano il profilo dei livelli di grigio ottenuti rispettivamente dalle immagini 6b e 6c in corrispondenza delle righe qui rappresentate; sogliando il grafico 6d con la curva del grafico 6e si ottiene il
20 profilo 6g; in quest'ultimo è evidente l'eliminazione del rumore quale effetto della procedura di sogliatura locale.

Come mostrato in figura 7, applicando la procedura di sogliatura locale alle immagini di riga 7a, le stesse di figura 5a, filtrandole con l'eq.(10) si ottengono le
25 immagini della riga 7b, filtrandole con l'eq.(11) si

ottengono le immagini della riga 7c, e sogliando le immagini della riga 7b con le immagini della riga 7c si ottengono le immagini della riga 7d.

Da quanto sopra, è quindi evidente che i filtri
5 secondo l'invenzione, derivati dalla generalizzazione del momento centrale assoluto del primo ordine, pur presentando analogie funzionali con alcuni filtri correntemente utilizzati (gradiente di Gaussiana, Laplaciano di Gaussiana, differenza di Gaussiane, ecc.), sono vantaggiosi perché in
10 un unico filtro si trovano concentrate le seguenti proprietà:

- al variare dei parametri del momento centrale assoluto del primo ordine i filtri ottenuti possono fornire gli stessi risultati dei filtri tradizionali quali gradiente
15 di Gaussiana, Laplaciano di Gaussiana e differenza di Gaussiane,
- si possono implementare filtri derivativi sia del primo e del secondo ordine,
- possono essere usati per ottenere al tempo stesso la
20 localizzazione degli zero-crossing della derivata seconda e una stima della loro importanza,
- possono essere usati per l'implementazione di un algoritmo di sogliatura locale,
- è possibile evidenziare separatamente il bordo interno
25 e quello esterno di una struttura, o separatamente oggetti



- scuri su fondo chiaro e oggetti chiari su fondo scuro,
- è possibile evidenziare con massimi locali isolati punti chiave dell'immagine quali spigoli, giunzioni e punti terminali di linee o punti isolati,
 - 5 - è possibile evidenziare la linea centrale di linee aventi spessore non nullo con una cresta, e essere usati per estrarre tracciati (per esempio ECG) da supporti cartacei,
 - nonché possono essere usati, tramite i suddetti punti
 - 10 chiave, per ricostruire immagini panoramiche di una struttura da una pluralità di scansioni prese da diversi punti di vista.

Descrizione di un HARDWARE preferito

Nelle applicazioni dove è richiesto il filtraggio di

15 poche immagini, l'algoritmo proposto può essere implementato efficientemente su un comune calcolatore. In applicazioni più onerose, quali il filtraggio in tempo reale di segnali video, la classe di filtri può essere implementata tramite un dispositivo hardware dedicato come

20 quello descritto in quest'esempio.

L'apparato proposto, in base alla presente invenzione, è un dispositivo configurabile in grado di implementare l'intera classe di filtri. Il sistema è in grado di elaborare in tempo reale un flusso continuo

25 d'immagini con risoluzione e frame-rate tipici dei comuni



standard video. Sia il segnale video di ingresso sia quello di uscita sono in formato digitale. Ad esempio, essi possono essere una sequenza d'interi ad 8 bit rappresentanti immagini su 256 livelli di grigio. Nel caso
5 in cui la dimensione delle immagini sia di 512x512 pixels e si abbiano 25 fotogrammi al secondo, allora la frequenza di pixel, cioè la velocità dei dati, è $f_p = 512 \times 512 \times 25 = 6.5536$ MHz.

L'apparato può essere descritto tramite un
10 linguaggio HDL (Hardware Description Language) che ne definisce in modo univoco l'architettura e ne permette l'implementazione su di un circuito integrato. La scelta del dispositivo su cui mappare l'architettura dipende, invece, dalle esigenze poste in fase di realizzazione. Nel
15 caso si vogliano privilegiare flessibilità e rapidità di sviluppo del prodotto è possibile utilizzare dispositivi di logica programmabile, quali FPGA (Field Programmable Gate Array) e CPLD (Complex Programmable Logic Device). Se
viceversa si intendono privilegiare le prestazioni ed il
20 costo finale del dispositivo, la soluzione da adottare può essere quella di un circuito integrato ASIC (Application-Specific Integrated Circuit). In entrambi i casi può essere indispensabile l'utilizzo di banchi di memoria esterni, dove memorizzare temporaneamente i dati.

25 L'architettura dell'apparato, illustrata in figura

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'Albo N. 544



8, è costituita da uno o più filtri 1 e da una ALU (unità aritmetico logica) 2. I filtri implementano il calcolo della deviazione positiva $e_p(n,m)$ e della deviazione negativa $e_n(n,m)$. Ogni filtro è caratterizzato da un prefissato set di parametri costituiti dai coefficienti delle funzioni peso $w_1(k,l)$ $w_2(k,l)$ $w_3(k,l)$ $w_4(k,l)$. Tali coefficienti possono essere impostati in fase di inizializzazione del sistema. Tipicamente, il numero di bit su cui sono rappresentate le funzioni peso è pari al numero di bit su cui è rappresentata l'immagine. La ALU realizza operazioni aritmetiche e logiche sui risultati dei precedenti filtri in base all'operazione di filtraggio prescelta.

La configurazione minima dell'apparato è quella in cui si ha un unico filtro e dove la ALU realizza una semplice operazione fra deviazione positiva e deviazione negativa. Nel caso, ad esempio, in cui si voglia ottenere un massimo locale in corrispondenza delle discontinuità, l'operazione effettuata dalla ALU è la differenza fra le due deviazioni.

$$g(n,m) = e(n,m) = e_p(n,m) - e_n(n,m) \quad (14)$$

Dalla somma delle due deviazioni:

$$g(n,m) = e_p(n,m) + e_n(n,m) \quad (15)$$

si ottengono, invece, zero-crossing in corrispondenza delle discontinuità.



Nel caso più generale in cui si abbiano due filtri, la ALU ha in ingresso le componenti ottenute tramite il primo filtro $e'_p(n,m)$ $e'_n(n,m)$ e quelle ottenute tramite il secondo filtro $e''_p(n,m)$ $e''_n(n,m)$. Tale configurazione
5 può essere usata, ad esempio, per operazioni di sogliatura locale. L'operazione effettuata dalla ALU è la seguente:

$$\begin{cases} e'(n,m) = e'_p(n,m) - e'_n(n,m) \\ e''(n,m) = e''_p(n,m) - e''_n(n,m) \end{cases} \quad (16)$$

$$g(n,m) = \begin{cases} e'(n,m) & \text{se } e'(n,m) > e''(n,m) \\ 0 & \text{se } e'(n,m) \leq e''(n,m) \end{cases} \quad (17)$$

10

L'architettura del filtro 1, illustrata in figura 9, è costituita da quattro convolutori FIR bidimensionali e da un integratore. I quattro convolutori implementano le convoluzioni (2) dell'immagine $f(n,m)$ con le maschere
15 $w_1(k,l)$ $w_2(k,l)$ e le due convoluzioni (7) dei segnali $\hat{e}_p(n,m)$ ed $\hat{e}_n(n,m)$ con la maschera $w_4(k,l)$.

L'integratore implementa le sommatorie contenute nell'equazione (7) e riportate di seguito:

$$\begin{aligned} \hat{e}_p(n,m) &= \sum_{(k,l) \in \Theta_{3p}} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l) \\ \hat{e}_n(n,m) &= \sum_{(k,l) \in \Theta_{3n}} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l) \end{aligned} \quad (18)$$

20

Nel caso in cui si elaborino immagini su 256 livelli di grigio, è possibile rappresentare tutti i segnali $f(n,m)$, $\mu_1(n,m)$, $\mu_2(n,m)$, $\hat{e}_p(n,m)$, $\hat{e}_n(n,m)$, $e_p(n,m)$, $e_n(n,m)$, tramite numeri interi ad 8 bit. Questa

approssimazione costituisce un buon compromesso fra precisione del risultato e complessità dell'hardware.

I convolutori sono costituiti da un certo numero d'unità elementari il cui schema a blocchi è illustrato in figura 10. L'operazione implementata da ciascuna unità è la moltiplicazione-e-somma, ovvero:

- moltiplicazione fra l'elemento $f(n,m)$ dell'immagine ed il coefficiente $w(k,l)$ della maschera di convoluzione.
- somma $s(k,l)$ fra il risultato della moltiplicazione ed il valore $s(k,l-1)$ ottenuto dall'unità precedente.

Gli elementi di cui è costituita ciascuna unità sono

- un'unità di ritardo 5.
- un registro 6 dove è memorizzato il coefficiente della maschera di convoluzione.
- un moltiplicatore 7.
- un sommatore 8.

Nel caso in cui si elaborino immagini su 256 livelli di grigio, gli elementi 5 e 6 sono implementati tramite registri ad 8 bit. Sia il moltiplicatore 7 che il sommatore 8 sono invece implementati utilizzando logica combinatoria. Il primo ha ingressi ad 8 bit ed uscita a 16 bit mentre la dimensione del secondo dipende dalla dimensione della somma parziale $s(k,l-1)$. In alcune implementazioni può essere vantaggioso realizzare moltiplicatore e sommatore tramite un'unica rete



combinatoria avente tre ingressi ed un'uscita.

Se la velocità d'elaborazione dell'unità è pari alla
frequenza di pixel, è possibile realizzare una
moltiplicazione-e-somma per ogni ciclo di clock. Questo
5 significa che per realizzare la convoluzione in tempo
reale è necessario utilizzare un numero di unità pari alla
dimensione della maschera di convoluzione $w(k,l)$.
Tuttavia, se si utilizzano dispositivi a semiconduttore
abbastanza veloci, è possibile ridurre notevolmente la
10 dimensione del convolutore e quindi la complessità del
circuito integrato che lo implementa. Si consideri il caso
in cui la velocità d'elaborazione dell'unità sia N volte
la frequenza di pixel. In tal caso è possibile utilizzare
la stessa unità per realizzare la moltiplicazione-e-somma
15 fra l'immagine ed N valori della maschera di convoluzione
 $w(k,l)$, i quali saranno caricati ciclicamente nel registro
6. Utilizzando quest'accorgimento, la dimensione del
convolutore si riduce di un fattore N .

Tramite un convolutore bidimensionale è possibile
20 implementare la convoluzione con una qualsiasi funzione
peso $w_i(k,l)$ definita nell'intorno circolare Θ_i . Tuttavia
nel caso si utilizzino funzioni particolari, come ad
esempio le Gaussiane, è possibile introdurre un secondo
accorgimento per ridurre la dimensione del convolutore.

25 Si considerino funzioni peso $\hat{w}_i(k,l)$ definite su

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544



dominio quadrato:

$$\hat{\Theta}_i = \{(k, l) \in I^2 : -r_i \leq k \leq r_i, -r_i \leq l \leq r_i\} \quad (19)$$

Dal confronto con la (3) si può facilmente dedurre che il dominio quadrato include quello circolare: $\Theta_i \subseteq \hat{\Theta}_i$.

5 Nell'ipotesi in cui i valori numerici della funzione $\hat{w}_i(k, l)$ siano trascurabili al di fuori dell'intersezione fra i due domini, la convoluzione con $w_i(k, l)$ e la convoluzione con $\hat{w}_i(k, l)$ producono risultati equivalenti.

Se, inoltre, la funzione $\hat{w}_i(k, l)$ è separabile, cioè
10 è possibile definire due funzioni $\hat{w}_{i1}(k)$ e $\hat{w}_{i2}(l)$ tali che:

$$\hat{w}_i(k, l) = \hat{w}_{i1}(k) \cdot \hat{w}_{i2}(l) \quad (20)$$

allora la convoluzione bidimensionale con $\hat{w}_i(k, l)$ è
equivalente alla serie di due convoluzioni
15 monodimensionali con $\hat{w}_{i1}(k)$ e $\hat{w}_{i2}(l)$ rispettivamente. Nel caso, ad esempio, del calcolo dei valori medi della funzione $f(n, m)$, l'equazione (2) diventa:

$$\mu_i(n, m) = \sum_{(k, l) \in \hat{\Theta}_i} f(n-k, m-l) \hat{w}_i(k, l) = \sum_{l \in \Phi_{i2}} \left(\sum_{k \in \Phi_{i1}} f(n-k, m-l) w_{i1}(k) \right) w_{i2}(l) \quad (21)$$

con $\hat{w}_{i1}(k)$ e $\hat{w}_{i2}(l)$ definite sui domini monodimensionali:

$$\begin{aligned} \Phi_{i1} &= \{k \in I : -r_{i1} \leq k \leq r_{i1}\} \\ \Phi_{i2} &= \{l \in I : -r_{i2} \leq l \leq r_{i2}\} \end{aligned} \quad (22)$$

20 Con queste ipotesi, il convolutore bidimensionale può essere implementato dalla cascata di due convolutori monodimensionali, come illustrato in figura 11. Nel caso in cui i dati siano ad 8 bit, la dimensione degli elementi



dell'unità elementare del primo convolutore 9.1 rimane quella descritta precedentemente. I dati $r(n,m)$ in uscita dal primo convolutore sono, invece, rappresentati su un numero maggiore di bit: $16 + \log_2(2 \cdot r_{11} + 1)$. Tuttavia, nella
 5 maggior parte dei casi presi in esame, è possibile approssimare tale dato tramite un intero ad 8 bit. Con quest'ulteriore approssimazione anche la dimensione degli elementi dell'unità elementare del secondo convolutore 9.2 rimane invariata.

10 Nel passaggio da una convoluzione bidimensionale con dominio quadrato a due convoluzioni monodimensionali, il numero di unità elementari necessarie all'operazione si riduce da $(2r_1+1)^2$ a $2(2r_1+1)$. Nel caso di domini circolari, il numero di unità elementari è generalmente
 15 minore di $(2r_1+1)^2$ essendo $\Theta_i \subseteq \hat{\Theta}_i$. Tuttavia, il vantaggio che si ottiene nel passaggio a convoluzioni monodimensionali è ancora notevole.

L'integratore è costituito da unità elementari la cui architettura è riportata in figura 12. Con riferimento
 20 alle equazioni (18), le operazioni implementate da ciascuna unità sono:

- sottrazione fra i valori $\mu_1(n,m)$ ed $\mu_2(n-k,m-l)$.
- moltiplicazione con il coefficiente della matrice $w_3(k,l)$.
- 25 - se il risultato della sottrazione è positivo: somma

$s_p(k, l)$ del risultato della moltiplicazione con il valore $s_p(k, l-1)$ ottenuto dall'unità precedente.

- se il risultato della sottrazione è negativo: somma $s_n(k, l)$ del risultato della moltiplicazione con il valore $s_n(k, l-1)$ ottenuto dall'unità precedente.

Gli elementi di cui è costituita ciascuna unità elementare sono:

- un'unità di ritardo 10.
- un registro 11 dove è memorizzato il coefficiente della maschera di convoluzione.
- un sottrattore 12 con riporto (borrow).
- un moltiplicatore 13.
- una costante zero 14.
- due multiplexer 15.1 e 15.2.
- due sommatore 16.1 e 16.2.

Nel caso in cui si elaborino immagini su 256 livelli di grigio, gli elementi 10 e 11 sono implementati tramite registri ad 8 bit. Tutti gli altri elementi, numerati da 12 a 16.x, sono invece implementati tramite logica combinatoria. La sottrazione 12 è fra operandi ad 8 bit con risultato su 8 bit mentre la moltiplicazione 13 è fra operandi ad 8 bit con risultato su 16 bit. La dimensione dei multiplexer 15.x e dei sommatore 16.x dipende dalla dimensione delle somme parziali $s_p(k, l-1)$ ed $s_n(k, l-1)$.

- Se la velocità d'elaborazione dell'unità è pari alla



frequenza di pixel, l'integratore è costituito da M^2 unità elementari, dove M è la dimensione della maschera $w_3(k,l)$. Analogamente a quanto affermato per i convolutori, disponendo di un dispositivo a semiconduttore veloce è
5 possibile utilizzare la stessa unità elementare per calcolare N elementi della sommatoria. In tal modo anche la dimensione dell'integratore si riduce di un fattore N .

La descrizione di cui sopra di una forma esecutiva specifica è in grado di mostrare l'invenzione dal punto di
10 vista concettuale in modo che altri, utilizzando la tecnica nota, potranno modificare e/o adattare in varie applicazioni tale forma esecutiva specifica senza ulteriori ricerche e senza allontanarsi dal concetto inventivo, e, quindi, si intende che tali adattamenti e
15 modifiche saranno considerabili come equivalenti della forma esecutiva esemplificata. I mezzi e i materiali per realizzare le varie funzioni descritte potranno essere di varia natura senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione. Si intende che le espressioni o la
20 terminologia utilizzate hanno scopo puramente descrittivo e per questo non limitativo.



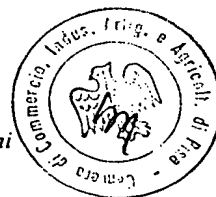
1. Un metodo automatico di localizzazione ed estrazione del contorno di strutture presenti in una immagine di partenza, **caratterizzato dal fatto** di prevedere il filtraggio di detta immagine di partenza tramite il
5 momento centrale assoluto $e(n,m)$ dell'intensità dei pixel di detta immagine, essendo n e m le coordinate di ciascun pixel, in cui detto momento centrale assoluto è ottenuto con le seguenti fasi:

- determinazione per ogni n,m della media locale
10 calcolata su un intorno del pixel di coordinate n,m dell'immagine di partenza, ottenendo una prima immagine filtrata;

- determinazione per ogni n,m della sommatoria delle differenze in valore assoluto tra l'intensità del pixel di
15 coordinate n,m della prima immagine filtrata e l'intensità di tutti i pixel contenuti in un intorno del pixel di coordinate n,m di detta immagine di partenza, o di una seconda immagine filtrata derivata da detta immagine di partenza.

20 2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta sommatoria delle differenze è calcolata tra detta prima immagine filtrata e detta seconda immagine filtrata, in cui detta seconda immagine filtrata è ottenuta per ogni n,m dalla media locale calcolata su un intorno del pixel
25 di coordinate n,m di detta immagine di partenza.

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544



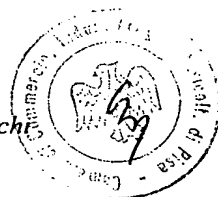
3. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta sommatoria delle differenze viene sdoppiata calcolando una sommatoria delle differenze positive, o deviazione positiva, e una sommatoria delle differenze negative, o deviazione negativa.

4. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detto momento centrale assoluto $e(n,m)$ è calcolato in modo generalizzato come segue:

$$e(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_3} |\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)| w_3(k,l) \quad (1)$$

essendo n,m le coordinate dei pixel di una mappa $f(n,m)$ di detta immagine; $w_1(n,m)$, $w_2(n,m)$, $w_3(n,m)$ e $w_4(n,m)$ quattro funzioni peso definite su quattro domini circolari Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 e Θ_4 , rispettivamente di raggio r_1 , r_2 , r_3 e r_4 e definiti come $\Theta_i = \{(k,l) \in I^2 : \sqrt{k^2 + l^2} \leq r_i\}$; \otimes è l'operatore di convoluzione; $\mu_1(n,m) = \sum_{(k,l) \in \Theta_1} f(n,m) w_1(n,m)$ il valore medio sul dominio Θ_1 di detta mappa e costituente detta prima immagine filtrata; $\mu_2(n,m) = \sum_{(k,l) \in \Theta_2} f(n-k, m-l) w_2(k,l)$ il valore medio sul dominio Θ_2 di detta mappa e costituente detta seconda immagine filtrata.

5. Metodo secondo le rivendicazioni 3 e 4, in cui a partire da detto momento centrale assoluto generalizzato sono utilizzati come ulteriori filtri detta deviazione positiva $e_p(n,m)$ e detta deviazione negativa $e_n(n,m)$ come



$$e_p(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_{3p}} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l)$$

(7)

$$e_n(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_{3n}} (\mu_1(n,m) - \mu_2(n-k, m-l)) w_3(k,l)$$

dove i domini Θ_{3p} e Θ_{3n} sono definiti come:

$$\Theta_{3p} = \{(k,l) \in \Theta_3 : \mu_1(n,m) > \mu_2(n-k, m-l)\}$$

(8)

$$\Theta_{3n} = \{(k,l) \in \Theta_3 : \mu_1(n,m) < \mu_2(n-k, m-l)\}$$

6. Metodo secondo la rivendicazione 4, in cui detto
5 calcolo del momento centrale assoluto generalizzato
dell'intensità dei pixel prevede le fasi di:

- definizione di detti domini circolari Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 e Θ_4 ,
nell'intorno di ciascun punto dell'immagine di partenza
in cui Θ_1 , Θ_3 e Θ_4 sono centrati su n , m e Θ_2 è un dominio
10 centrato rispettivamente su ogni punto interno a Θ_3 ;
- associazione a ciascun dominio Θ_i , con i che va da 1 a
4, di una funzione peso w_i e calcolo del valor medio μ_i
della mappa a livelli di grigio per i domini Θ_1 e Θ_2 sulla
base di detti w_i ;
- 15 - calcolo del momento assoluto centrale generalizzato
 $e(n,m)$ sulla base della funzione peso w_3 sul dominio Θ_3 ;
- scomposizione del momento centrale assoluto
generalizzato $e(n,m)$ in una deviazione positiva $e_p(n,m)$ e
una deviazione negativa $e_n(n,m)$ producendo in
20 corrispondenza di detta discontinuità due profili a
campana parzialmente sovrapposti;
- convoluzione delle due deviazioni positiva $e_p(n,m)$



negativa $e_n(n,m)$ con la funzione peso w_4 sul dominio Θ_4 ;

- misura dell'entità della discontinuità utilizzando come filtri dette deviazione positiva $e_p(n,m)$ e deviazione negativa $e_n(n,m)$.

5 7. Metodo secondo la rivendicazione 6, in cui detta misura dell'entità della discontinuità è fatta mediante l'estrazione di una funzione

$$\text{Min}(e_p(n,m), |e_n(n,m)|)$$

8. Metodo secondo la rivendicazione 6, in cui detta misura
10 dell'entità della discontinuità è fatta con la sottrazione:

$$e(n,m) = e_p(n,m) - e_n(n,m)$$

9. Metodo secondo la rivendicazione 6, in cui un filtro DoG (differenza di gaussiane) si ottiene utilizzando la
15 somma di dette deviazioni positiva $e_p(n,m)$ e negativa $e_n(n,m)$ del momento centrale assoluto.

10. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui dette immagini di partenza sono:

- immagini biomediche, ottenute con impulsi ultrasonici, PET, SPECT, CAT, MR, etc, tra cui immagini anatomiche, o
20 immagini di funzione, ottenute per mezzo di sequenze temporali di viste anatomiche di una zona particolare di un organo, o immagini di perfusione, ottenute sullo stesso organo dopo trattamento del paziente con sostanze che mettano in risalto la perfusione nell'organo.



- immagini di tracciati acquisite con uno scanner con lo scopo di convertire il tracciato su carta in segnale digitale.

11. Metodo secondo la rivendicazione 10 in cui, nel caso di
5 immagini di tracciati, l'immagine ottenuta è filtrata con detto momento centrale assoluto $e(n,m)$ evidenziando una traccia tramite un profilo a campana, la cui sommità è il segnale digitale cercato, essendo prevista una ulteriore fase di determinazione del segnale digitale con un
10 algoritmo standard di localizzazione dei massimi locali.

12. Metodo di estrazione dei contorni, secondo la rivendicazione 4, caratterizzata dal fatto che in corrispondenza di una discontinuità, detto momento centrale assoluto generalizzato, calcolato come

$$15 \quad e'(n,m) = \sum_{(k,l) \in \Theta_3} |\mu_1(n,m) - f(n-k, m-l)| w_3(k,l) \quad (12)$$

viene confrontato con una soglia derivata da detto momento centrale assoluto generalizzato, calcolata come

$$e''(n,m) = w_4(n,m) \otimes \sum_{(k,l) \in \Theta_3} |f(n,m) - f(n-k, m-l)| w_3(k,l) \quad (13)$$

13. Apparecchiatura per l'estrazione dei contorni da
20 immagini video organizzate come sequenza di fotogrammi, caratterizzata dal fatto di utilizzare una unità aritmetico logica ed uno o più filtri che implementano le operazioni di deviazione positiva $e_p(n,m)$ e di deviazione negativa $e_n(n,m)$ del momento centrale assoluto

generalizzato dell'intensità dei pixel di detta immagine definiti come:

$$e_p(n, m) = w_4(n, m) \otimes \sum_{(k, l) \in \Theta_{3p}} (\mu_1(n, m) - \mu_2(n - k, m - l)) w_3(k, l) \quad (7)$$

$$e_n(n, m) = w_4(n, m) \otimes \sum_{(k, l) \in \Theta_{3n}} (\mu_1(n, m) - \mu_2(n - k, m - l)) w_3(k, l)$$

dove i domini Θ_{3p} e Θ_{3n} sono definiti come:

$$\Theta_{3p} = \{(k, l) \in \Theta_3 : \mu_1(n, m) > \mu_2(n - k, m - l)\}$$

$$\Theta_{3n} = \{(k, l) \in \Theta_3 : \mu_1(n, m) < \mu_2(n - k, m - l)\} \quad (8)$$

14. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13 in cui detti filtri sono costituiti da quattro convolutori bidimensionali e da un integratore.

15. Apparecchiatura, secondo la rivendicazione 14, in cui ognuno di detti convolutori bidimensionali è sostituito dalla cascata di due convolutori monodimensionali.

p.p. CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE; ESAOTE S.p.A.

Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544



Fig. 1

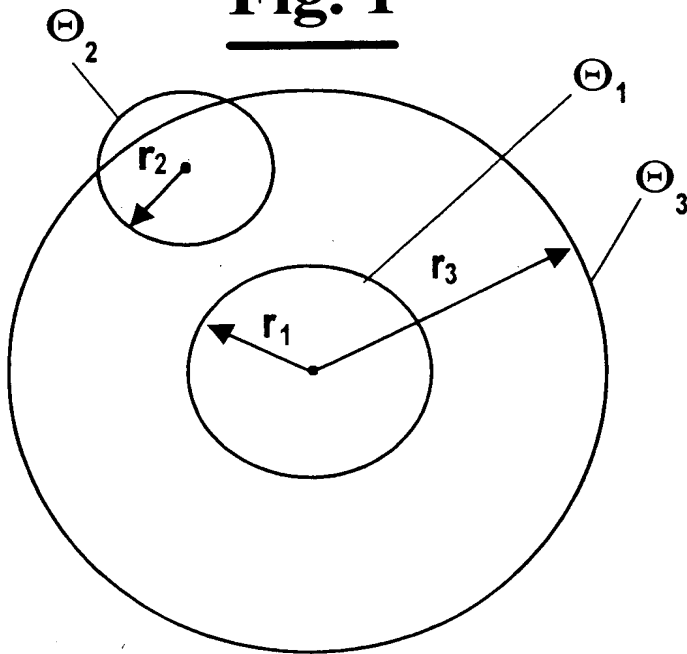


Fig. 2

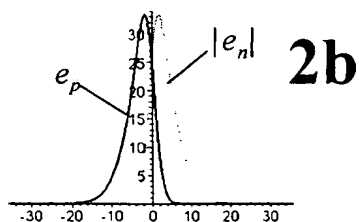
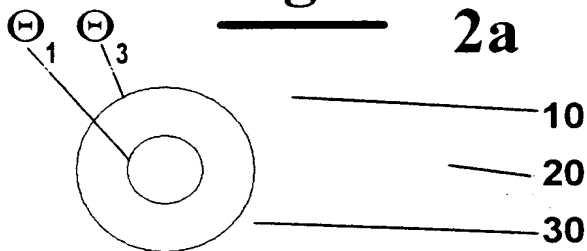


Fig. 3

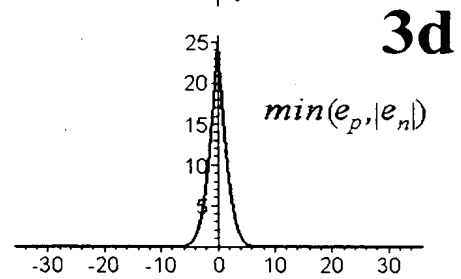
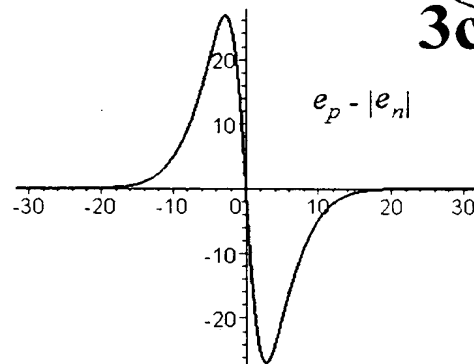
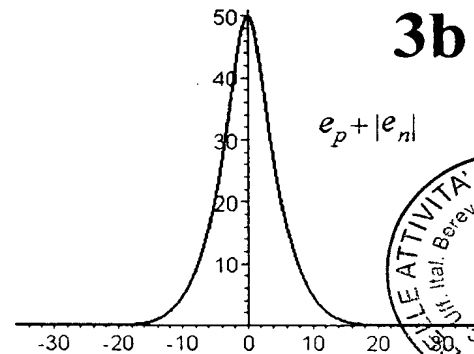
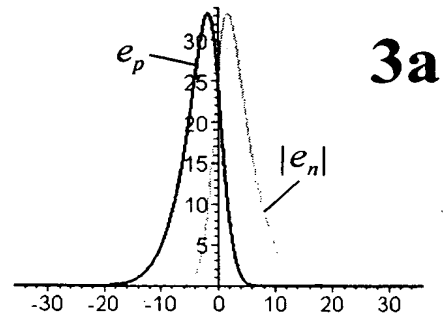
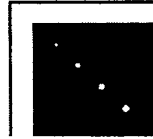


Fig. 4

PI 20002 A 0 0 0 0 5 1

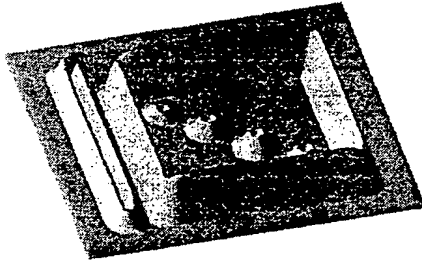
4a



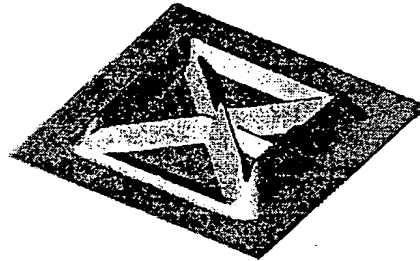
4d



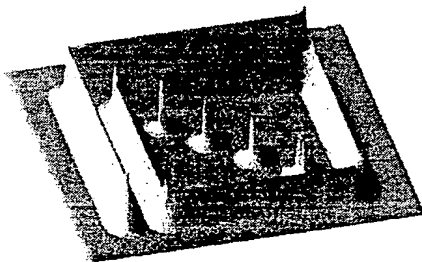
4b



4e



4c



4f

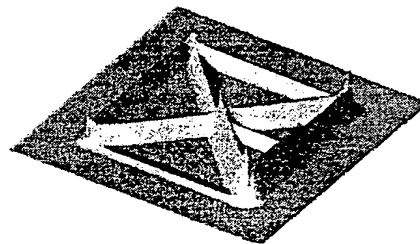
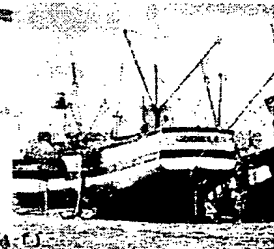
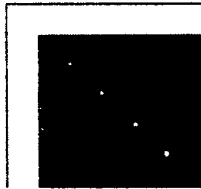
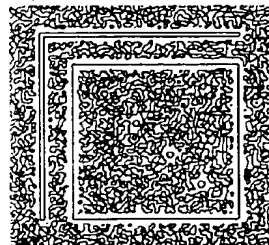


Fig. 5

5a



5b



5c

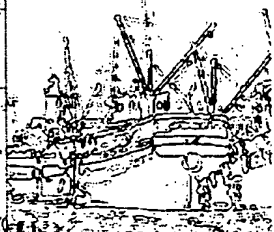
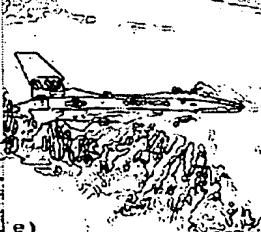
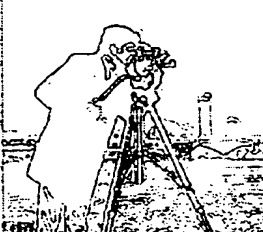


Fig. 6

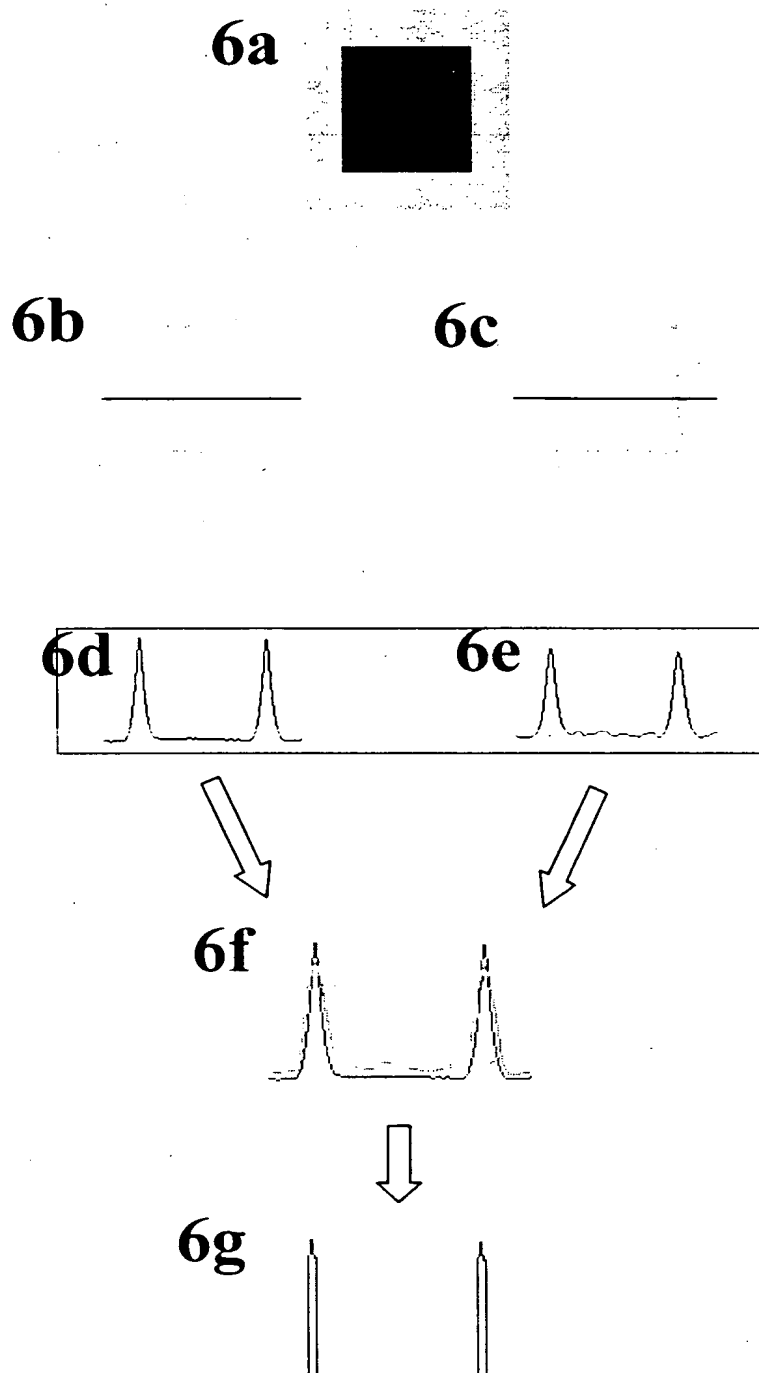
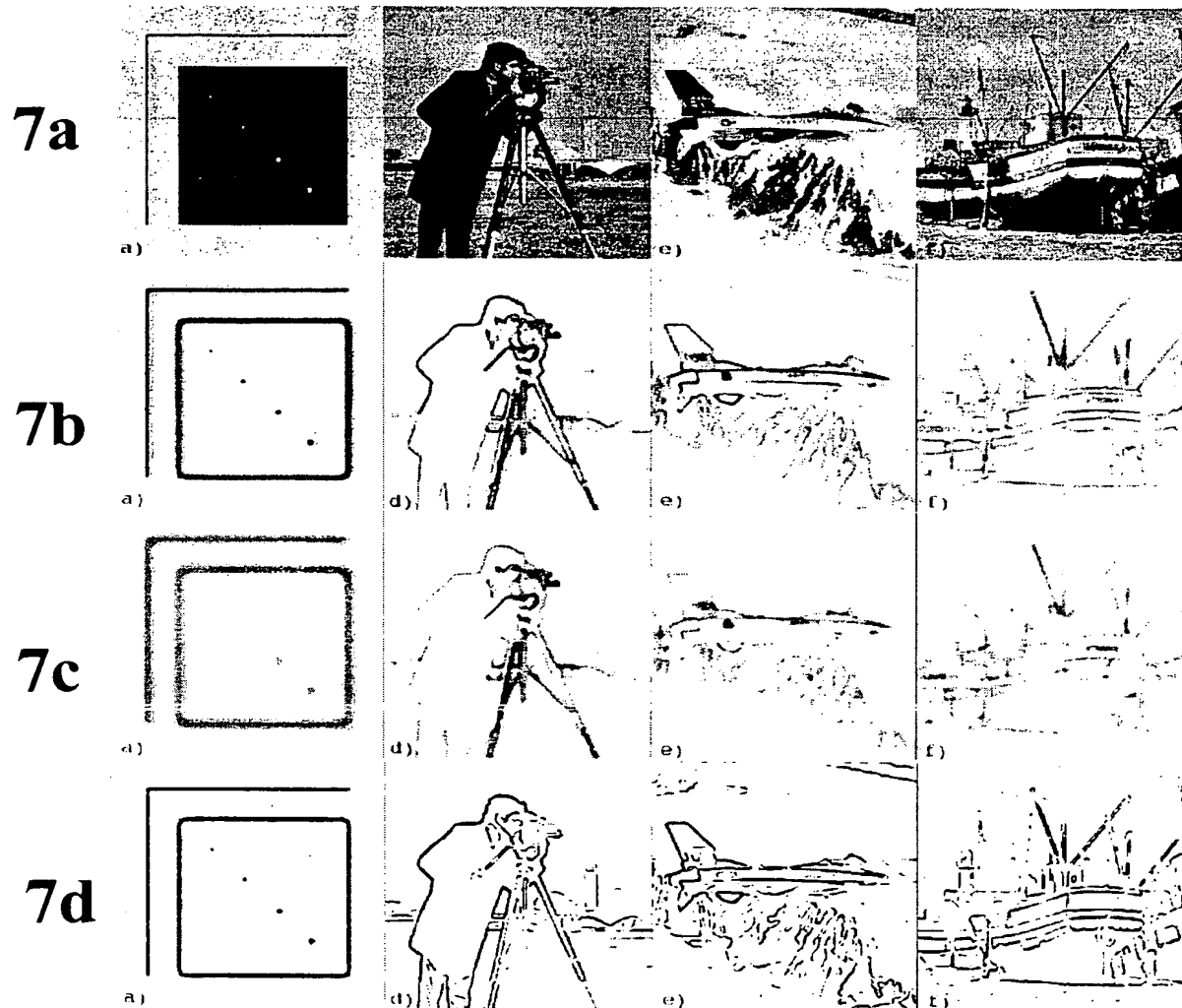


Fig. 7



Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544

Fig. 8

Pl 2002 A 0 0 0 0 5 1

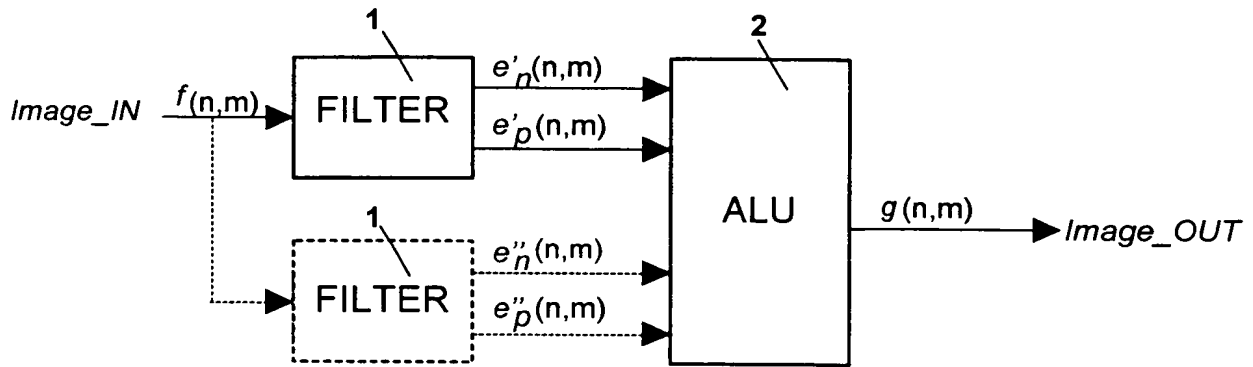


Fig. 9

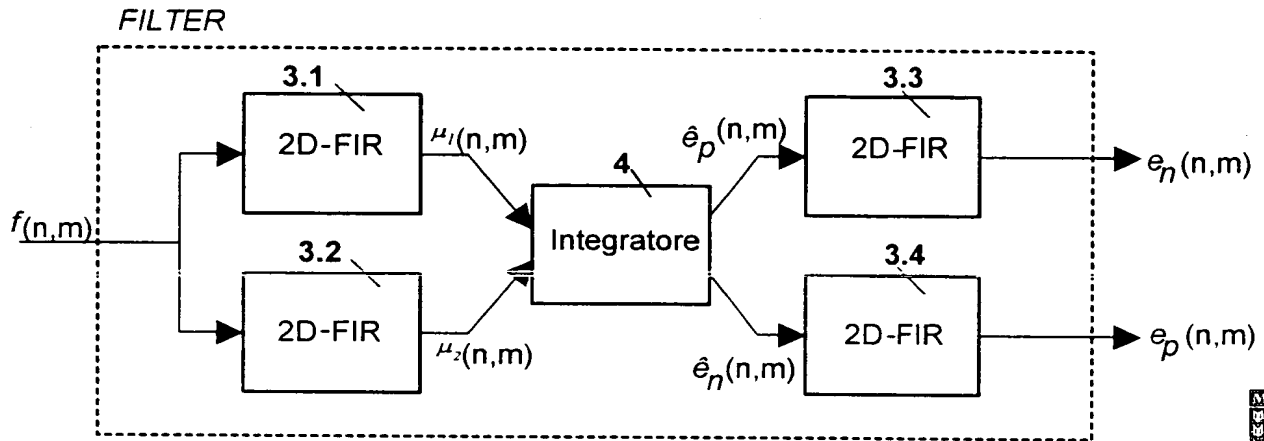
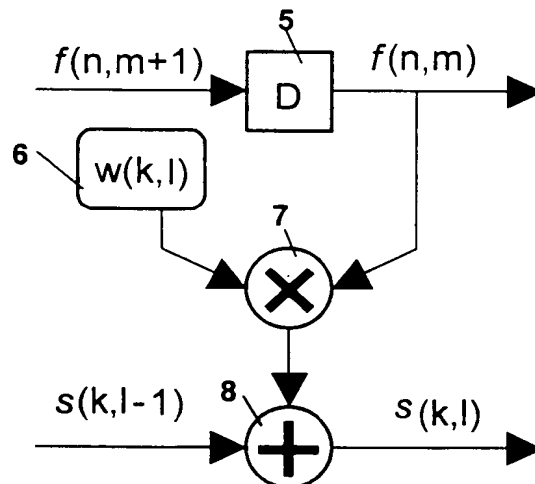


Fig. 10



Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritt. all'albo N. 544

Fig. 11

PI 2002 A 0 0 0 0 5 1

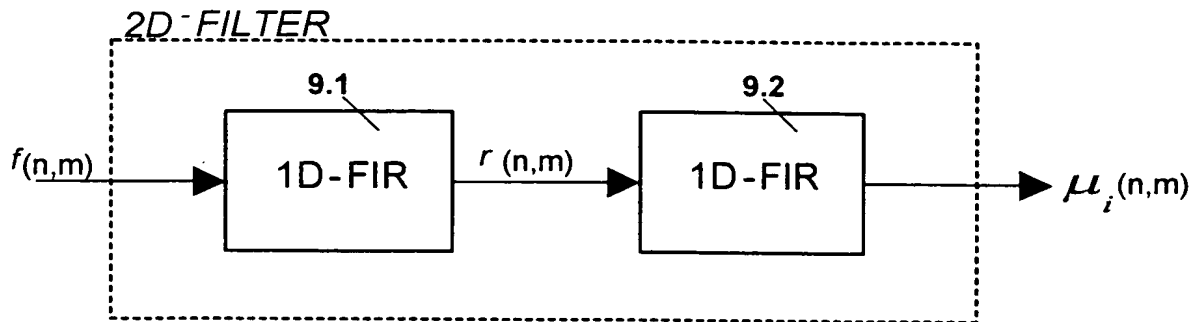
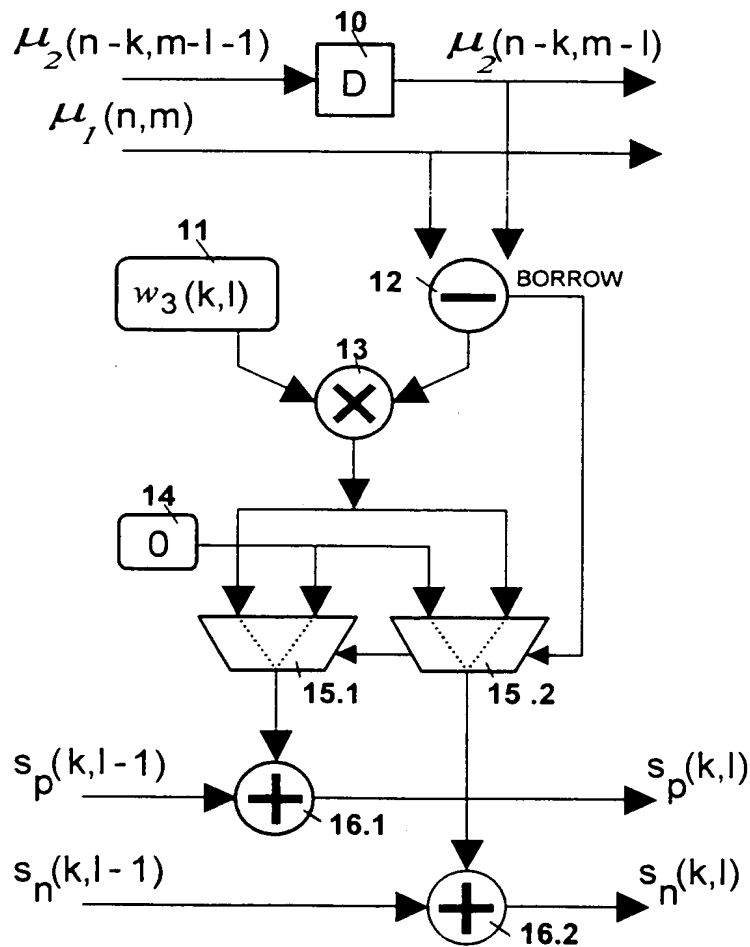


Fig. 12



Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544